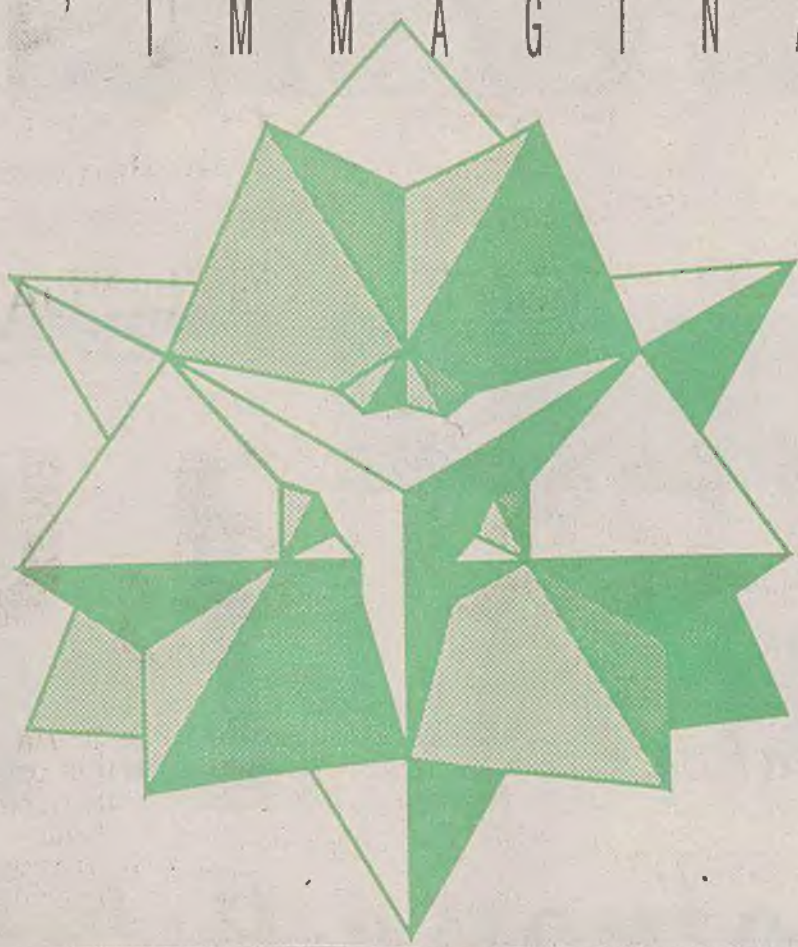
L I S

LABORATORIO DELL'IMMAGINARIO SCIENTIFICO

FEBBRAIO 1994 - N°15

"Io non so che cosa
possa aver pensato
di me il mondo, ma per conto mio
mi sembra di essere stato
come un fanciullo che,
giocando sulla riva del mare,
si sia divertito a trovare,
di quando in quando,
un ciottolo più liscio
o una conchiglia
più bella dell'ordinario,
mentre l'immenso oceano
della verità stava davanti a me
ancora tutto da scoprire".

Isaac Newton

ELETTRA: LA NUOVA LUCE

L'IMMAGINARIO SCIENTIFICO NOTIZIE

Una giornata per Elettra

Venerdì 25 febbraio 1994

Alla vigilia dell'inaugurazione di Elettra, il LIS (Centro Congressi Fiera di Trieste, Piazzale De Gasperi 1) organizza:

ore 16
Proiezione del video
ELETTRA

ore 17
ELETTRA: LABORATORIO HIGH-TECH DEL TERZO MILLENNIO

Tavola rotonda con i protagonisti

Giuseppe Viani
Amministratore delegato
L'importanza di Elettra nelle relazioni internazionali, l'investimento finanziario e le sue possibili ricadute economiche e scientifiche.

Adolfo Savoia
Vice direttore della Divisione scientifica
La luce di sincrotrone, le caratteristiche e le particolarità di Elettra rispetto ad altre macchine simili.

Albin Wrulich
Direttore della Divisione acceleratori
Com'è fatta Elettra, lo stato e le prestazioni attuali della macchina.

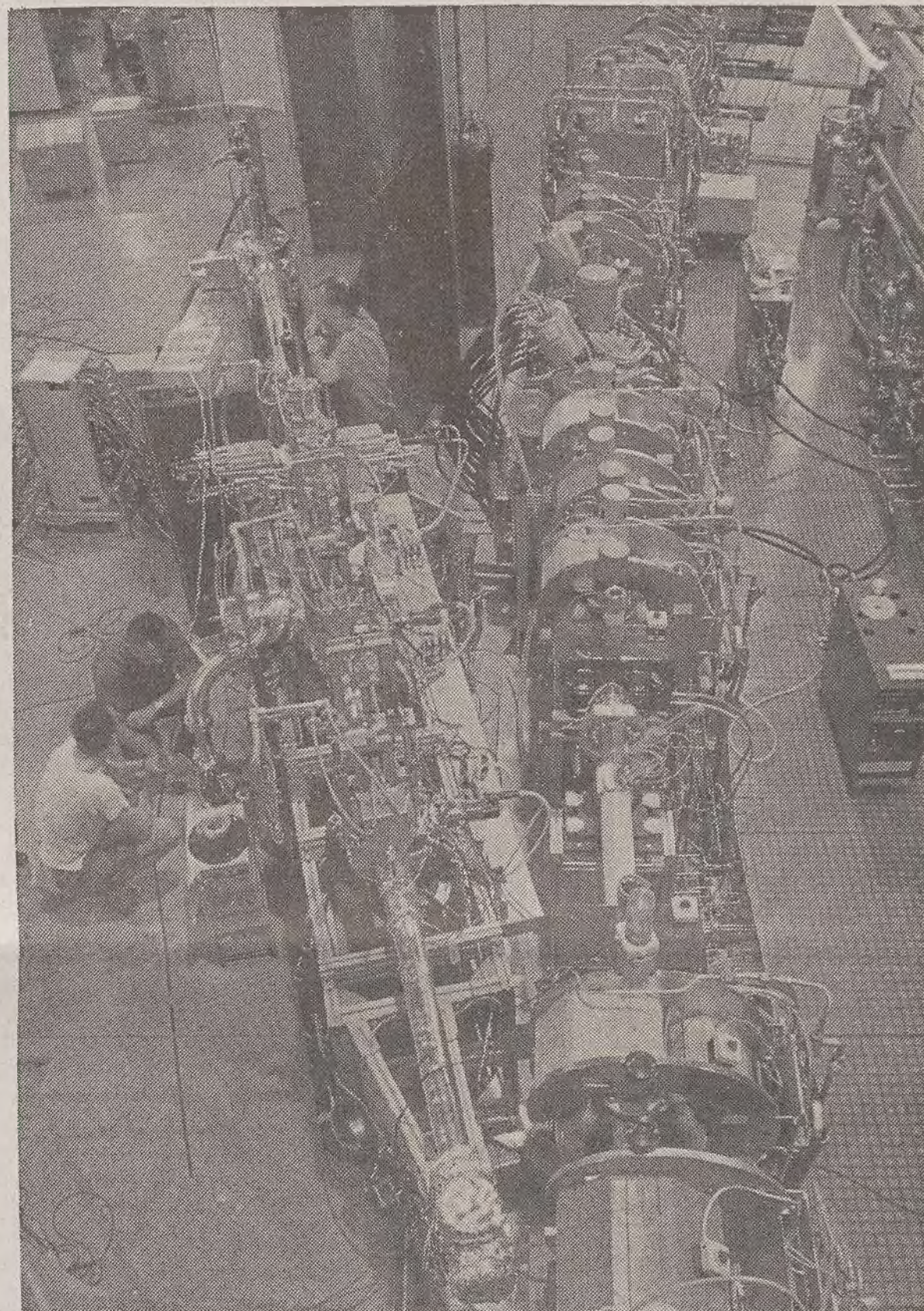
Renzo Rosei
Direttore della Divisione scientifica
Gli usi nella ricerca industriale, le applicazioni in biologia, medicina, biofisica, fisica dello stato solido e in altre scienze.

Intervista a **RENZO ROSEI**
Direttore della Divisione scientifica della Sincrotrone Trieste

ELETTRA: PIÙ LUCE PER LA SCIENZA

Abbiamo incontrato Renzo Rosei, direttore della Divisione scientifica di Elettra, nel suo ufficio dell'Area di Ricerca di Padriciano. Da qui segue le ultime fasi di allestimento di Elettra, della quale, assieme a Luciano Fonda (oggi vicepresidente del Sincrotrone), è stato uno dei promotori fin dai primissimi tempi. Ricordiamo che presidente del Sincrotrone è Carlo Rubbia. Albin Wrulich è il direttore della Divisione acceleratori, Adolfo Savoia vicedirettore della Divisione scientifica, Giuseppe Viani amministratore delegato.

Quali sono i motivi di maggiore soddisfazione nella costruzione di Elettra?
Quando, nel 1985, mi venne affidata la ricerca sulla rilevanza scientifica del progetto, a Trieste non esisteva un gruppo di persone con le competenze specifiche, e perciò dovetti mettere insieme uno staff nuovo: l'ho fatto dando tesi a ragazzi volenterosi su argomenti tecnici molto specialistici. Questi ragazzi sono attualmente entrati tutti nella Sincrotrone Trieste. Questa è forse una delle più grosse soddisfazioni: essere riuscito a preparare tanta gente e a inserirla a pieno diritto in un progetto di livello internazionale.
Quanto ai risultati tecnici, abbiamo allestito qui — a partire da un «prato verde» — dei laboratori unici in Europa e ai massimi livelli mondiali per le loro competenze. Questo è stato possibile anzitutto grazie alla gente del luogo; la maggior parte delle persone che lavorano al progetto vengono dalla regione e sono persone eccezionali. La loro abnegazione e il loro entusiasmo sono stati la nostra arma più importante. Attualmente la Sincrotrone Trieste dà lavoro a circa 200 persone, di cui 160 sono dipendenti. Un altro motivo d'orgoglio è stato quello di terminare i lavori entro i tempi prestabiliti, (abbiamo recuperato tutto il ritardo che avevamo rispetto alla macchina di Berkeley, iniziata nel 1987), e, ciò che più conta, rimanendo nei preventivi di spesa, cosa che è praticamente unica in Italia e anche nel mondo non accade tanto spesso.
Infine, bisogna ricordare che le fasi di collaudo della macchina sono state conseguite in tempi record (in un certo senso abbiamo battuto in volata la macchina di Berkeley). Dopo questi risultati, abbiamo comunicato il successo a tutti i laboratori nel mondo e allora, nel giro di 24 ore, hanno cominciato a fioccare i fax di congratulazioni. È stato molto emozionante, perché finalmente abbiamo potuto dire: «Adesso anche a Trieste c'è luce di sincrotrone!».
Finalmente il 25 ottobre 1993 ci hanno dato l'ok per aprire la prima linea di luce. Il fascio era stato allineato con un **laser**, e avevamo messo uno specchietto angolato opportunamente per proiettare la luce contro una parete. Quando abbiamo aperto, istantaneamente abbiamo *visto la luce*, subito, e l'abbiamo fotografata: allora c'è stato un grande applauso. Erano le sei di sera di lunedì 25 ottobre.
Appena ripresi dall'emozione, abbiamo montato *il primo esperimento* per verificare il funzionamento della linea di luce. Si trattava di effettuare una micrografia a raggi X. Il campione era un retino di rame con contorni molto netti che consente di misurare bene la risoluzione spaziale. Quando l'abbiamo messo dentro il fascio, sui monitor dei computer è comparsa istantaneamente l'immagine. Anche questo è stato un momento di grande soddisfazione. Fra macchine e linee, avevamo messo insieme circa trenta milioni di pezzi, quindi il rischio che qualcosa fosse stato messo male o non connesso bene c'era, e invece ha funzionato tutto sin dal primo momento.
Qual è la caratteristica che contraddistingue Elettra rispetto ad altre macchine analoghe?
Uguale alla nostra c'è soltanto la macchina di Berkeley, in California. La macchina di Grenoble è specializzata nei raggi X duri, Elettra nei raggi X molli. Questo significa che tutti gli altri Paesi europei, finché non avranno una macchina come la nostra, verranno a mettere 1, 2, 3,... *beam-line* a Trieste. E infatti abbiamo avuto alcune proposte di questo genere; devo dire che gli approcci sono venuti solo ultimamente, perché prima stavano tutti alla finestra a guardarci: ''Vediamo se questa volta gli italiani riescono a fare qualcosa che funzioni''. E adesso che abbiamo avuto successo, gli appetiti si stanno dimostrando molto grandi.
Da che cosa dipende la scelta dei raggi X molli rispetto ai raggi X duri?
La questione dipende da come li si vuole utilizzare. La macchina di Grenoble ha delle **lunghezze d'onda** specifiche delle dimensioni di un atomo ed è adatta a guardare la materia a livello degli atomi. Le nostre lunghezze d'onda sono dell'ordine di grandezza delle molecole; allora, se si vogliono studiare le molecole è meglio venire a Trieste. Inoltre i raggi X duri che usa Grenoble sono più penetranti, quindi più adatti per vedere il volume di un materiale, mentre i nostri sono meno penetranti e quindi più adatti per lo studio delle superfici. Ecco, per esempio, perché la nostra macchina è così speciale per gli studi di catalisi, per gli studi di corrosione. Inoltre le applicazioni indu-

Continua in pagina 4

Uno scorcio dell'anello di sincrotrone Elettra.

FRANCO BASSANI
Scuola Normale Superiore di Pisa

LA LUCE DI SINCROTRONE IN ITALIA: Ricordi di un testimone

La storia della luce di sincrotrone in Italia, da quando sembrava un irrealizzabile sogno, ha attraversato fasi alterne di entusiasmo, di frustrazione e di occasioni mancate. Ora che il sogno si è finalmente realizzato, medici, biologi, biofisici, fisici della materia e chimici potranno osservare la natura attraverso una più ampia finestra.

La prima volta che sentii parlare della **luce di sincrotrone** e della possibilità di utilizzarla per lo studio dei materiali fu durante un viaggio in treno da Roma a Messina nel 1965. L'amico Chiarotti mi informò che presso l'Elettrosincrotrone di Frascati un gruppo misto italo-francese stava conducendo esperimenti di riflessione di luce da superfici metalliche.
Al momento la cosa non mi fece grande impressione. Nei corsi di elettrodinamica si imparava da tempo che la **radiazione elettromagnetica** prodotta da cariche elettriche in moto su orbite circolari assume caratteristiche molto particolari quando la velocità delle particelle cariche si avvicina alla velocità della luce: la radiazione è collimata, cioè si propaga solo nella direzione della tangente all'orbita come un raggio ottico con piccolo cono di apertura, le **lunghezze d'onda** della luce irraggiata si estendono con continuità su una grande parte dello **spettro**, dall'infrarosso, al visibile, fino ai raggi X. Tuttavia queste proprietà, di per sé importantissime, non venivano utilizzate, forse per la necessità di mantenere la luce in alto vuoto, o forse perché il problema dei costruttori di macchine acceleratrici era stato quello di ridurre la perdita di energia per irraggiamento piuttosto che di produrre più luce possibile. Inoltre, l'energia degli elettrosincrotroni non era sufficiente a ottenere radiazione X di lunghezza d'onda abbastanza piccola per la maggior parte delle applicazioni.
Questo non impedì che il gruppo sperimentale diretto da Chiarotti, con Balzarotti, Burattini, Rosei e Piacentini, avviasse un'attività di studio dei metalli e degli isolanti con la radiazione dell'elettrosincrotrone di Frascati, ottenendo notevoli successi. Ricordo che nel 1967, essendomi stato richiesto di segnalare al Consiglio Nazionale delle Ricerche un campo della struttura della materia con grandi potenzialità di sviluppo, inviai un rapporto sulla luce di sincrotrone e sulle ricerche con essa possibili. Il ragionamento è molto semplice ed è tuttora valido. La conoscenza microscopica della materia viene ottenuta inviando radiazioni elettromagnetiche su di essa e osservandone le proprietà. Quello che conta per conoscere

Continua in pagina 4

IN QUESTO NUMERO

Un giornale dedicato al laboratorio **Elettra** di luce di sincrotrone, in occasione dell'inaugurazione ufficiale.
A pagina 1 un'intervista a Renzo Rosei, *Elettra: più luce per la scienza* e un articolo di Franco Bassani, *Ricordi di un testimone,* che ripercorre le tappe storiche della luce di sincrotrone in Italia.
Nelle pagine centrali:
Luciano Fonda, *Miserie e splendori della luce di sincrotrone.*
Perchè il sincrotrone fa luce?, una scheda per capire cosa succede dentro l'anello di Elettra.
Linee di luce: otto laboratori per Elettra, sulle possibilità e le applicazioni in fisica, biologia, medicina...
Glossario
A pagina 4:
Margherita Hack, *I sincrotroni del cielo*, una panoramica sui sincrotroni naturali scoperti dagli astronomi.
Vincenzo Zuccarello, *Un ecosistema per Elettra*, uno studio di impatto e ripristino ambientale del territorio.

LUCIANO FONDA
Vice presidente della Sincrotrone Trieste

Miserie e splendori della luce di sincrotrone

Il modo di valutare la luce di sincrotrone è oggi molto cambiato. Un tempo questa intensa radiazione era considerata un disturbo per gli esperimenti di fisica delle particelle. In questi ultimi decenni, comprese le possibilità di utilizzarla per esplorare il mondo delle molecole e degli atomi, sono sorti nuovi laboratori dedicati alla produzione e all'uso di questa nuova luce.

In natura la materia può essere descritta in tre grandi capitoli caratterizzati per l'ordine di grandezza delle dimensioni coinvolte:
1) *Strutture macroscopiche: planetarie, galattiche e oltre* (10^{16} metri)
2) *Strutture atomiche, molecolari e multimolecolari* (10^{-9} metri)
3) *Strutture nucleari e subnucleari* (10^{-15} metri)
Non mi soffermerò sul punto (1), per quanto la luce di sincrotrone sia un fenomeno che si osserva anche nell'Universo (vedi l'articolo di Margherita Hack, *I sincrotroni del cielo).*
Del punto (3) si occupa la fisica delle alte energie, che studia il nucleo dell'atomo (protoni, neutroni) e le sue substrutture (quarks, gluoni).
La macchina di luce Elettra è dedicata e finalizzata allo studio delle strutture del punto (2), cioè le cortecce elettroniche degli atomi e degli agglomerati di molti atomi, per esempio di proteine, virus, DNA, cellule, metalli, materiali di ogni tipo. Gli elettroni di tale corteccia costituiscono un insieme spaziale (molto vasto rispetto alle dimensioni del nucleo atomico) che circonda il nucleo alla stessa guisa dell'atmosfera gassosa terrestre che circonda il geoide terrestre; le sue proprietà chimico-fisiche e i livelli energetici occupati dagli elettroni variano da elemento a elemento, da molecola a molecola, da materiale a materiale. Le dimensioni spaziali vanno da 10^{-10} metri (un decimo di miliardesimo di metro) in su. Le energie in gioco sono comprese da pochi **elettronvolt** a decine di migliaia di elettronvolt.
Per lo studio di queste strutture è necessario utilizzare proiettili che colpendo la corteccia elettronica ne rivelino le caratteristiche chimico-fisiche. I proiettili più efficienti sono i **fotoni** con **frequenze** comprese da quella caratteristica dei raggi ultravioletti a quella dei raggi X, che possono venire prodotti da acceleratori circolari di elettroni.
La **luce di sincrotrone** è stata osservata a occhio nudo casualmente per la prima volta nel 1947 dal gruppo di Pollock al sincrotrone della General Electric a Schenectady (New York). A immediato seguito dell'accidentale scoperta, il gruppo di Pollock ne determinò le proprietà spettroscopiche, che risultarono essere in accordo con le analisi teoriche predette da Schwinger: alta intensità, collimazione (tutta la radiazione è concentrata in avanti), ampio **spettro** energetico (si estende dalla luce visibile ai raggi X) e polarizzazione.
Il fatto che lo spettro copra un intervallo molto vasto permette sperimentalmente la scelta di una **lunghezza d'onda** facendo uso di opportuni dispositivi monocromatori. Questa grande flessibilità della luce di sincrotrone, accompagnata alla sua alta intensità su tutto lo spettro, ha reso quasi obsolete le sorgenti convenzionali, quali i tubi a raggi X che dispongono invece di lunghezze d'onda fisse determinate dalle caratteristiche atomiche dell'anodo.
A partire dagli inizi degli anni Sessanta la luce di sincrotrone, con le sue prodigiose proprietà che nessuna altra forma di luce presenta tutte assieme, ha cominciato a suscitare interessi vieppiù crescenti e i ricercatori di scienza dei materiali hanno iniziato, «in parassitaggio», l'uso delle macchine acceleratrici dei fisici delle alte energie. Va a questo punto detto che l'emissione di luce di sincrotrone è un fenomeno indesiderato per i fisici delle alte energie, perché pone un limite all'energia massima raggiungibile dal fascio di elettroni, ed è per questo che in tal caso essa viene minimizzata aumentando il raggio di curvatura dei **sincrotroni**. Così i sincrotroni di «prima generazione» hanno presto rivelato la loro inadeguatezza, per cui ci si è indirizzati, negli anni Settanta, alla costruzione di macchine dedicate esclusivamente alla produzione di luce di sincrotrone.
Nelle macchine di «seconda generazione» si è minimizzata la corrente del fascio elettronico per ottenere alta potenza dai magneti curvanti, usati per mantenere il fascio di elettroni entro l'anello.
Recentemente è sorta l'esigenza di poter disporre di fasci di radiazione intensa, di alta coerenza e collimazione, cioè con proprietà simili ai **laser** ma per lunghezze d'onda più corte. Si è così deciso di costruire macchine progettate in modo da inserire nelle sezioni diritte dei loro anelli di accumulazione — cioè nei tratti tra due successivi magneti curvanti — dei dispositivi magnetici multipolari (ondulatori), di invenzione relativamente recente, capaci di produrre luce con le qualità dei laser. Queste macchine di «terza generazione» sono sorgenti di luce di alta **brillanza**, cioè di luce molto intensa, collimata e generata da una sorgente quasi puntiforme. Queste sue proprietà permettono la focalizzazione di flussi molto intensi di fotoni su campioni molto piccoli.
Le macchine di terza generazione esistenti sono Elettra a Trieste, l'Avanced Light Source a Berkeley (California) e l'European Synchrotron Radiation Facility a Grenoble. La brillanza dei fasci di luce di Elettra costituisce un record mondiale nella banda di frequenze dai raggi ultravioletti ai raggi X molli; Elettra è quindi, in tale intervallo di frequenze, la macchina di luce più potente al mondo.
Elettra sarà usata per indagare fenomeni naturali (per esempio, in campo sanitario, la determinazione di strutture di virus e l'implementazione di nuove tecniche radiografiche quali mammografia e angiografia), per migliorare l'ambiente (caratterizzazione di materiali e «invenzione» di nuovi, impatto ambientale) per la qualità della vita (microelettronica, superconduttori, micromeccanica ecc.).

GLOSSARIO

Brillanza: è data dalla potenza (cioè l'energia trasportata in un secondo) emessa da una sorgente di radiazione per centimetro quadrato e per angolo solido di 1°. Se il raggio di luce è molto direzionato (come nel laser o nei sincrotroni di terza generazione) può avere elevata brillanza anche se è relativamente debole.
Campo elettrico: regione di spazio dove si risente l'azione di una forza elettrica.
Campo elettromagnetico: regione di spazio dove è presente un'onda elettromagnetica.
Campo magnetico: regione di spazio dove si risente l'azione di una forza magnetica.
Coerenza: è il grado di ordine in fase di due o più onde. In linea di principio, un fronte d'onda coerente si propaga inalterato; tuttavia non esistono radiazioni eternamente e infinitamente coerenti, ma solo radiazioni con tempi e lunghezze di coerenza finiti.
Diffrazione: è un fenomeno dovuto alla natura ondulatoria della luce. Si manifesta sui bordi di una fenditura, che appaiono contornati da bande di luci e ombre (frange di interferenza) o di un forellino che genera invece una serie di aloni concentrici.
Effetto tunnel (microscopio): in certe condizioni, le particelle (ad esempio elettroni) possono superare una barriera di potenziale anche se la loro energia totale è inferiore a quella della barriera che, secondo le leggi della fisica classica, dovrebbe respingerle indietro. Il fenomeno si spiega invece con le leggi della meccanica quantistica. L'effetto tunnel può instaurare quindi una debole corrente elettrica tra le superfici di due materiali; questa corrente è molto sensibile al variare della distanza tra le due superfici. Su questo fenomeno si basa il microscopio a effetto tunnel (STM), nel quale una puntina estremamente sottile perlustra la superficie dell'oggetto da osservare e ne ricostruisce fedelmente le scabrosità (e quindi la forma) nei minimi particolari. Il microscopio AFM *(Atomic Force Microscope)* funziona in modo simile ma permette di osservare anche materiali isolanti.
Elettronvolt (eV): unità di misura dell'energia usata in fisica atomica e nucleare; 1 eV corrisponde all'energia cinetica acquistata da un elettrone che si muove in un campo elettrico uniforme sotto la differenza di potenziale di 1 volt.
Fase: è un numero che determina l'ampiezza, ovvero l'intensità di un'onda al momento iniziale. In un'onda è la parte già trascorsa, misurata a partire da un'origine fissa. Due onde di uguale frequenza sono in fase se le loro ampiezze si sommano positivamente in ogni punto, cioè se sono coerenti.
Fotone: particella elementare di energia luminosa; nella teoria quantistica della luce è trattato come un corpuscolo a massa nulla di energia $E=h\nu$, dove $h=6{,}626\ 10^{-34}$ joule al secondo e ν è la frequenza dell'onda elettromagnetica associata.
Frequenza: numero di oscillazioni al secondo di un'onda. Si misura in Hertz, ossia in cicli al secondo. Nella banda dello spettro visibile, a ogni determinata frequenza corrisponde un colore.
Gauss: unità di misura del campo magnetico.
Laser: con LASER (dalle iniziali di *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) si indica un ampio gruppo di sorgenti di radiazione elettromagnetica con caratteristiche molto peculiari. Il raggio laser è infatti coerente, monocromatico, fortemente collimato, molto brillante. Il laser trova oggi applicazione in moltissimi campi: dai sistemi di comunicazione, alla microchirurgia, alla meccanica di precisione.
Lunghezza d'onda: è la distanza percorsa da un'onda fra i due massimi successivi dell'onda. Per le onde elettromagnetiche si calcola dividendo la velocità della luce nel vuoto (circa 300.000 chilometri al secondo) per la frequenza. Si misura in metri o sottomultipli. A ogni colore, nella banda dello spettro visibile, corrisponde una differente lunghezza d'onda.
Radiazione elettromagnetica: la variazione del campo elettrico o magnetico provoca azioni a distanza a seguito di un trasferimento di energia (energia elettromagnetica). L'energia elettromagnetica si propaga come radiazione, cioè come un'onda. A seconda della lunghezza d'onda, le radiazioni elettromagnetiche si chiamano (partendo dalle lunghezze d'onda più brevi) raggi gamma, raggi X (che a loro volta si distinguono in raggi X duri e raggi X molli), ultravioletti, luce visibile, infrarossi, microonde e onde radio. La velocità di propagazione della radiazione elettromagnetica nel vuoto è circa 300.000 chilometri al secondo ed è costante in qualunque sistema di riferimento.
Radiazione di sincrotrone: radiazione elettromagnetica emessa da particelle cariche che attraversano un campo magnetico.
Raggi cosmici: sono particelle elementari (protoni, nuclei di elio, azoto, ossigeno, ..., antiprotoni, muoni, elettroni, positroni) che viaggiano nello spazio e che in parte giungono sulla Terra. Provengono probabilmente dalla nostra Galassia, ma non è escluso che arrivino anche da più lontano. Hanno energie elevatissime, superiori a quelle di qualunque acceleratore terrestre.
Sincrotrone: è una macchina per studiare le particelle elementari, che vengono fatte circolare in un anello grazie all'azione di forti campi magnetici.
Spettro di radiazione: è l'insieme delle frequenze o delle lunghezze d'onda (cioè dei colori nel caso della luce visibile) emesse da una sorgente. L'arcobaleno è lo spettro della radiazione solare prodotto quando un raggio di sole passa attraverso una gocciolina d'acqua che lo disperde in tanti raggi, ognuno corrispondente a un colore. Il risultato è una striscia continua di colori diversi. Sullo spettro continuo si formano delle righe di assorbimento (scure) o di emissione (brillanti) quando la luce attraversa un gas. Questo infatti può assorbire una parte della luce di una determinata frequenza (cioè di un colore) corrispondente alla transizione di un elettrone del gas tra due livelli energetici: si vedrà allora una riga scura. Se il gas viene riscaldato a una certa temperatura, riemette la luce che aveva assorbito: ecco che si forma allora una riga più brillante.
Stella di neutroni: è ciò che rimane di una stella massiccia giunta allo stadio finale della sua evoluzione dopo la sua esplosione in supernova. Queste stelle sono costituite quasi esclusivamente di neutroni, sono estremamente dense e concentrate in un volume piccolissimo.
Supernova: un'esplosione potentissima che caratterizza le fasi evolutive finali di stelle piuttosto massicce.

LINEE DI

OTTO LABORATORI

Elettra è una macchina molto sofisticata; con i laboratori attorno alla sua linea di luce, diventa un potentissimo strumento di osservazione con delle caratteristiche uniche al mondo. Le ricerche sviluppate nel laboratorio Elettra contribuiranno a capire più a fondo molti fenomeni naturali e a realizzare applicazioni che sembrano fantascientifiche: nuovi vaccini, nuovi catalizzatori per trasformare i fumi nocivi in gas innocui, ... Per ottenere la luce "giusta" fasci di elettroni con un'energia di un miliardo e mezzo di elettrovolt da un acceleratore lineare (LINAC), vengono iniettati nell'anello, costretti da magneti e ondulatori a percorrere una traiettoria particolare e a perdere così energia sotto forma di luce. La luce viene poi estratta attraverso appositi canali, le linee di luce, dove vengono sistemati i laboratori sperimentali. Ecco i laboratori che entreranno in funzione per primi.

Gas Phase Photoemission

La potenza massima del fascio è di 950W
L'energia varia da 20 a 1200eV.
Il flusso (di 10^{13} fotoni/secondo/0,1% larghezza della banda) è focalizzato su uno spot di 0,5mm.

La linea "Gas Phase Photoemission" (fotoemissione in fase gassosa), costruita in comune con l'Università di Roma "La Sapienza", permetterà di eseguire esperimenti sulla struttura elettronica di atomi e molecole di gas; sulla chimica della combustione; sulle reazioni tra idrocarburi (importanti per capire i meccanismi alla base della formazione dello smog); sulle reazioni in fase gassosa tra ozono, cloro e altri gas (importanti per capire come si sta formando il buco nello strato di ozono attorno alla Terra). Le reazioni che avvengono con i reagenti in fase gassosa richiedono, per essere studiate, intensità molto grandi di luce, perché il segnale è molto debole (le molecole di un gas sono estremamente diradate). La linea è dotata di due stazioni sperimentali, la prima è una camera di misura per fotoemissione con otto analizzatori; la seconda è una camera per studiare le reazioni in fase gassosa nel corso del tempo.

Le prime immagini ottenute con Elettra: in basso, un retino di rame; a destra le scabrosità della superficie di un materiale isolante.

Diffraction

La potenza massima del fascio varia da 2,5kW a 8kW.
L'energia varia da 5 a 25 keV.
Il flusso (di 10^{12}-10^{14} fotoni/secondo/0,1% larghezza della banda) è focalizzato su uno spot di 1mm.

La linea "Diffraction", costruita in comune con il CNR, utilizza una radiazione di energia vicina a quella dei raggi X duri. Energie così alte servono per aumentare la precisione dei dati cristallografici che si vogliono ottenere. La luce attraversa il cristallo-campione ed un diffrattometro analizza la figura di **diffrazione**, dalla cui struttura si possono ottenere precise informazioni sulla conformazione delle molecole che compongono il cristallo. Queste possono essere anche complesse macromolecole biologiche (come acidi nucleici, enzimi, particelle virali), dato che con la **brillanza** della **luce di sincrotrone** si possono analizzare la struttura di cristalli con celle elementari anche di molte migliaia di atomi. E non solo si possono determinare i dettagli della struttura di queste grandi molecole ma si può anche seguirne le trasfomazioni nel tempo assistendo, per esempio, al succedersi delle fasi di una reazione enzimatica.

Le schede descrivono gli otto laboratori di Elettra che entreranno in funzione per primi.

SAXS

La potenza massima del fascio è di 1kW
L'energia varia da 5,4 a 16 keV.
Il flusso (di 10^{14} fotoni/secondo/0,1% larghezza della banda) è focalizzato su uno spot di 1mm.

La linea "SAXS" (*Small Angle X Scattering*, cioè **diffrazione** a piccoli angoli), costruita a cura dell'Istituto di Biofisica dell'Accademia Austriaca delle Scienze (per ora l'unico intervento straniero), usa una parte del fascio della linea "Diffraction". A differenza della diffrazione classica, la diffrazione a piccolo angolo di dispersione consente di osservare strutture quasi cristalline come per esempio fibre muscolari. La linea verrà utilizzata per studiare campioni non perfettamente cristallizzati: microinclusioni, fibre, biopolimeri, biomembrane.

La radiazione emessa da un fascio di elettroni in un campo magnetico si distribuisce in tutte le direzioni. Usando gli ondulatori, invece, si costringe la radiazione emessa in un pennello sottilissimo.

ALOISA

La potenza massima del fascio ... kW.
L'energia varia da 250 a 2000 e...
Il flusso è di 10^{12} fotoni/second... 1% larg... della banda.

La linea "ALOISA" (*Advanced L... for Over... Interfaces and Surface Analysis*) ...ruita e... ta in comune con gruppi dell'INF... onsorzi... runiversitario Nazionale per la ... della ... ria) permette di realizzare stud... diffra... delle superfici. I raggi X non ven... riflessi... meno dagli specchi, che li ass... no con... mente. Questo vale, anche se n... drastic... te, pure per i raggi X molli. Per a... una rif... ne, occorre quindi proiettare il fa... con un... lo estremamente radente. A qu... scopo... ad un monocromatore, vengo... utilizza... specchi piani (per deflettere il fa...) e due... chi parabolici (per collimare e ...alizzar... scio). La camera ad Ultra Alto V... ed è do... un manipolatore di alta precisione ... sei gra... bertà e vi sono montate due co... ruot... analizzatori di elettroni. Da come ... raggi ve... riflessi dal campione si possono ...nere in... zioni sulla strutura atomica delle superfici.

I LUCE

P E R   E L E T T R A

...tissimo e versatile strumento ...contribuiranno a comprendere ...ccini, precisissimi microrobot, ... fasci di elettroni, accelerati a ...nell'anello di Elettra. Qui sono ...forma di luce di sincrotrone. La ...rimentali. Ecco gli otto labora-

ESCA Microscopy

La potenza massima del fascio è di 1,9 kW.
L'energia varia da 100 a 2000 eV.
Il flusso (di 10^9 fotoni/secondo/0,1% larghezza della banda) è focalizzato su uno spot di 500 Å.

La linea «ESCA Microscopy», costruita in collaborazione con la società ENI Ricerche, utilizza la stessa sorgente della linea «SuperESCA»; il flusso di **fotoni**, però, viene focalizzato su uno spot duemilioni di volte più piccolo. Si potrà perciò indagare la composizione di campioni molto più piccoli o di strutture molto più fini e disomogenee: materiali composti, dispositivi a semiconduttore, fenomeni di corrosione, catalisi, frizione, adesione, ... Inoltre, si potranno osservare campioni biologici non colorati e ancora viventi. I raggi X molli, infatti, in un certo preciso intervallo di energia, non vengono assorbiti dall'acqua (l'acqua, cioè risulta trasparente), mentre vengono assorbiti dal carbonio, contenuto in tutte le sostanze organiche (che risultano, così, opache; cioè si vedono). Si potranno quindi osservare in tempo reale i processi biochimici che si svolgono negli organelli subcellulari. La camera di misura è dotata di due precamere, una delle quali alloggia un STM (microscopio a **effetto tunnel**), un microscopio con sonda di scansione che permette di visualizzare, con una risoluzione atomica, le superfici dei campioni da esaminare.

SuperESCA

La potenza massima del fascio è di 1,9kW.
L'energia varia da 100 a 2000 eV.
Il flusso (di 10^{14} fotoni/secondo/0,1% larghezza della banda) è focalizzato su uno spot di 100 mm di diametro.

La linea SuperESCA (ESCA sta per *Electron Spectroscopy for Chemical Analysis*) permetterà di realizzare studi sulla struttura elettronica di materiali solidi come semiconduttori, metalli, leghe, ceramiche. Un fascio di luce filtrata sulla **frequenza** desiderata entra in una camera a Ultra Alto Vuoto dove colpisce il campione che è appoggiato su un particolare supporto manipolatore. A partire dall'energia degli elettroni che vengono emessi dal campione, e conoscendo con esattezza la frequenza della luce che li ha eccitati, si risale con estrema precisione alla struttura degli atomi che compongono quel materiale. Rispetto ad ESCA, ancora funzionante all'Area di Ricerca presso il Laboratorio TASC, SuperESCA utilizza un fascio di luce molto più **brillante** e collimato, e permette di variare l'energia e quindi la frequenza delle **radiazioni**. Mentre con ESCA si potevano avere dei valori medi e delle informazioni relativamente indirette, con «SuperESCA», grazie alla qualità della sorgente utilizzata, si riescono a seguire gli eventi in tempo reale.

Spectromicroscopy

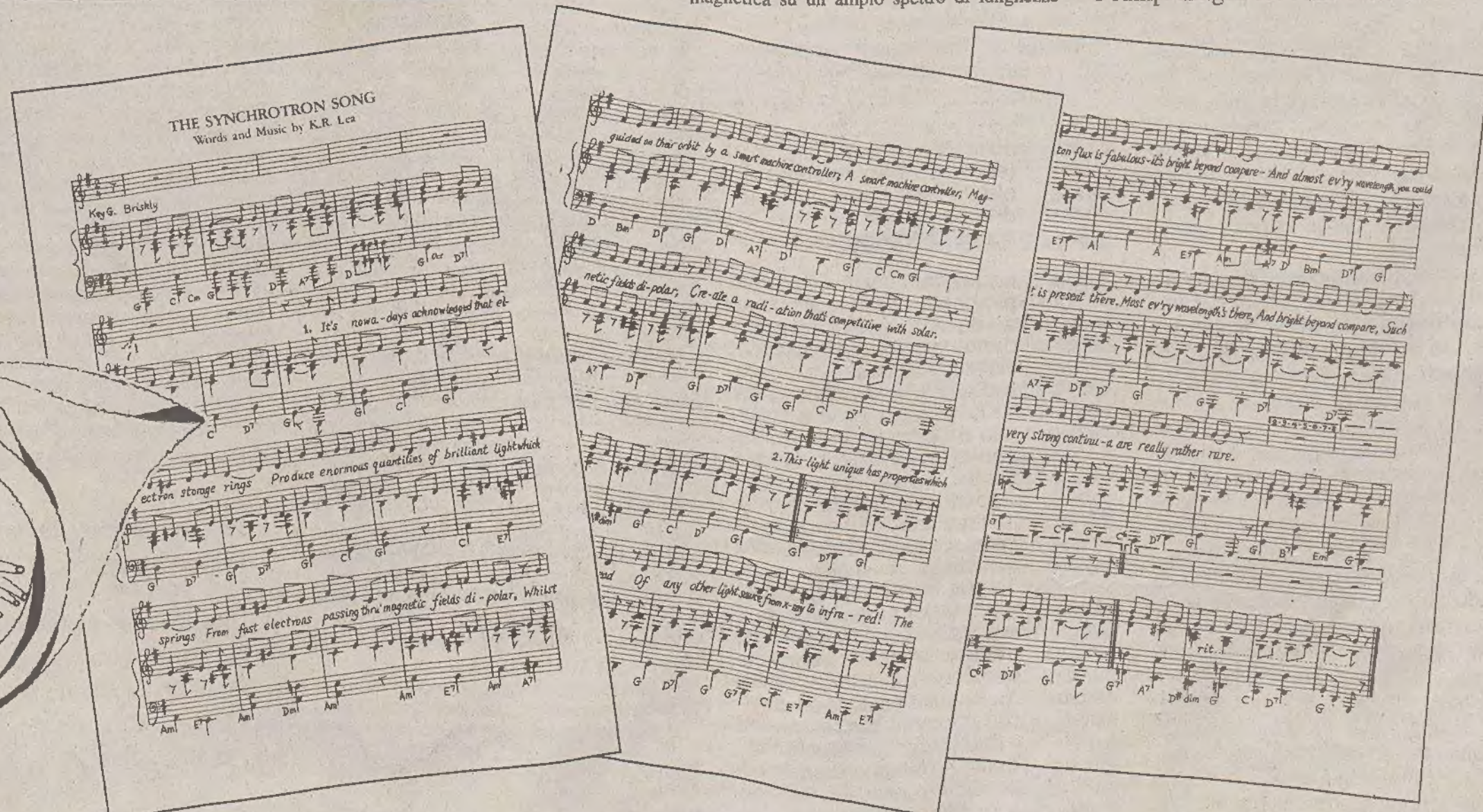
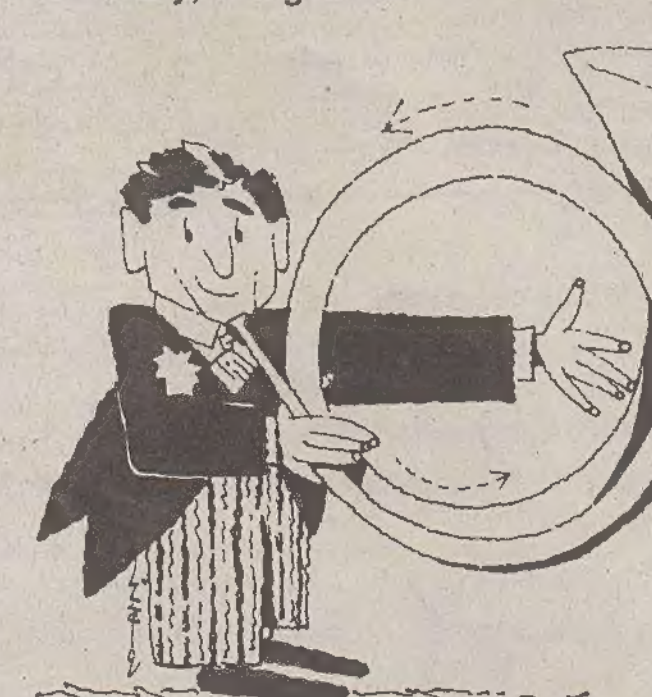
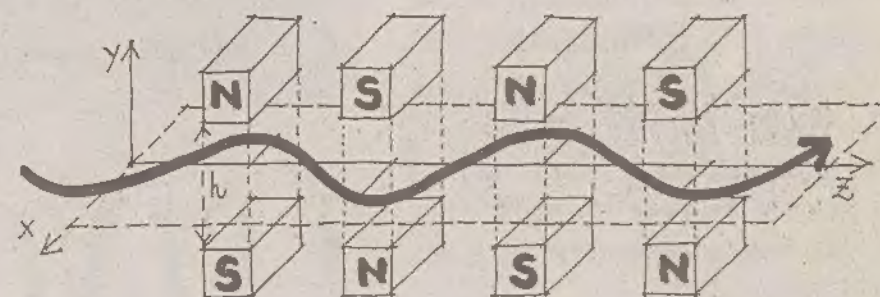
La potenza massima del fascio è di 950W.
L'energia varia da 20 a 1200 eV.
Il flusso (di 10^9 fotoni/secondo/0,1% larghezza della banda) è focalizzato su uno spot di 500 Å.

La linea «Spectromicroscopy» utilizza la stessa sorgente della linea «VUV Photoemission». Come per la linea «ESCA Microscopy» il flusso di luce viene focalizzato su uno spot di dimensioni microscopiche. Potranno venire studiate strutture disomogenee, con un'altissima risoluzione. Anche in questo caso la camera di misura è dotata di una precamera in cui è alloggiato un altro microscopio con sonda di scansione: per la precisione un AFM (Atomic Force Microscope), che appartiene alla stessa famiglia degli STM (ma può osservare anche materiali isolanti).

VUV Photoemission

La potenza massima del fascio è di 950W.
L'energia varia da 20 a 1200 eV.
Il flusso è di 10^{13}-10^{14} fotoni/secondo/0,1% larghezza della banda.

La linea «VUV Photoemission» (fotoemissione sulle **frequenze** dell'ultravioletto da vuoto), costruita in collaborazione con l'Istituto di Struttura della Materia del CNR verrà utilizzata per studiare sistemi di superfici di semiconduttori, formazioni di interfacce, superconduttori ad alta temperatura, struttura elettronica dei metalli e delle loro superfici. La stazione sperimentale è una camera di misura (attrezzata per preparare i campioni) in cui due analizzatori determinano a quale frequenza venga emessa la luce che attraversa il campione. Mentre la linea SuperESCA indaga la qualità determinante dagli strati più profondi della struttura dell'atomo, questa linea di luce permette di determinare quale sia la struttura degli elettroni più esterni (gli elettroni di valenza) degli atomi che compongono il materiale esaminato.

La canzone del sincrotrone, scritta da Kenneth R. Lea, un ricercatore del laboratorio di Daresbury, in Inghilterra.

Perché il sincrotrone fa luce

Uno schema dello spettro della radiazione elettromagnetica. Sopra il titolo un disegno degli ondulatori: i sistemi di magneti costringono il fascio di elettroni a viaggiare su una traiettoria a slalom.

Che cos'è la luce?
La luce che vediamo è radiazione elettromagnetica. Può essere descritta come un'onda che non trasporta materia, e viene prodotta dalle variazioni dei **campi elettrici e magnetici**. Come tutte le onde è caratterizzata da una **frequenza**, una **lunghezza d'onda**, un'ampiezza e una fase. La frequenza o la lunghezza d'onda determinano il colore, mentre l'ampiezza determina l'intensità. D'altra parte la luce trasporta energia; questa energia non è portata con flusso continuo, ma è concentrata in «pacchetti d'onda» che sono i suoi costituenti elementari: i **fotoni**. Ogni fotone trasporta una determinata energia pari alla frequenza dell'onda moltiplicata per una costante (la costante di Planck): perciò quanto maggiore è la frequenza, tanto magiore è l'energia trasportata dal fotone.

La luce viaggia nel vuoto alla velocità di circa 300.000 chilometri al secondo in tutti i sistemi di riferimento. A seconda della lunghezza d'onda le onde elettromagnetiche vengono chiamate (partendo dalle lunghezze d'onda più brevi) raggi gamma, raggi X, raggi ultravioletti, luce visibile, raggi infrarossi, microonde e onde radio.

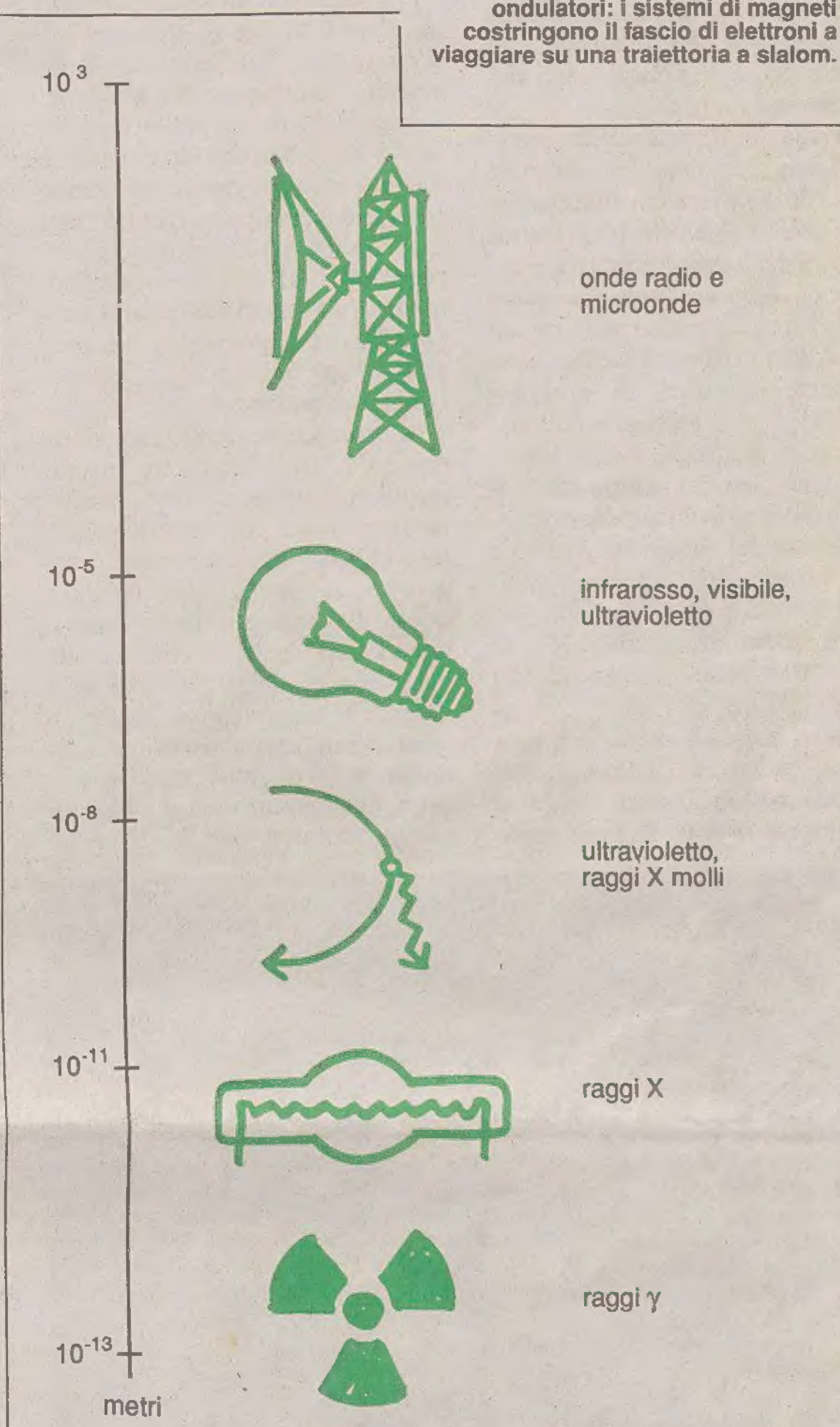
La radiazione elettromagnetica ci permette di «vedere» e di studiare la struttura della materia, dall'infinitamente piccolo all'infinitamente grande. A seconda delle dimensioni dell'oggetto da studiare, conviene scegliere lo strumento, cioè la luce più adatta. Oggetti molto piccoli saranno meglio osservati con una luce di lunghezza d'onda molto piccola (gli atomi vengono a esempio «guardati» con raggi X), oggetti più grandi con una luce di lunghezza d'onda maggiore: la lunghezza d'onda della radiazione usata deve essere confrontabile con le dimensioni caratteristiche dell'oggetto da osservare. La nuova macchina di luce Elettra è così importante proprio perché apre una finestra nuova sulla natura e permette di vedere cose che con i vecchi strumenti erano invisibili o appena percettibili.

La luce di sincrotrone

La luce o **radiazione di sincrotrone** si chiama così perché è stata osservata per la prima volta in un **sincrotrone**.

I sincrotroni sono macchine per studiare le particelle elementari: forti **campi magnetici** fanno circolare le particelle cariche (ad esempio elettroni) in un anello. Le particelle emettono radiazione, perdono così energia e rallentano. Nei sincrotroni questa perdita di energia viene compensata da un **campo elettrico** che oscilla in sincronia con il moto periodico degli elettroni.

L'emissione di radiazione di sincrotrone non è però un fenomeno specifico degli acceleratori, ma avviene in natura ogni volta che una particella carica si muove in un campo magnetico: è stata spesso osservata dagli astrofisici associata alle particelle cosmiche di alta energia che si muovono nei campi magnetici galattici.

Tutte le particelle cariche quando sono accelerate o decelerate emettono radiazione elettromagnetica su un ampio spettro di lunghezze d'onda (dall'infrarosso ai raggi X). Ad esempio, si producono onde radio quando correnti di elettroni in un'antenna oscillano a frequenze corrispondenti a quella particolare regione dello **spettro elettromagnetico**.
Se le particelle cariche si muovono in un campo magnetico, la loro traiettoria viene curvata secondo una legge precisa. Dato che un moto su una traiettoria curva equivale a un moto accelerato, le particelle in moto circolare emettono radiazione elettromagnetica.

L'emissione di radiazione di sincrotrone è più o meno intensa a seconda della massa e dell'energia delle particelle, e avviene a lunghezze d'onda tanto più brevi quanto maggiore è l'intensità del campo magnetico e quanto maggiore è la velocità delle particelle. Per particelle che viaggiano lentamente (cioè a velocità molto minori della velocità della luce), l'emissione è relativamente debole, ed è distribuita in tutte le direzioni. Se le particelle si muovono con velocità prossime a quelle della luce, il fascio di luce emesso è molto intenso e collimato.

Negli acceleratori di particelle, dove i campi magnetici sono estremamente forti, lo spettro della luce di sincrotrone va da 10^{-2} fino a 10^{6} Å ($1Å=10^{-10}$m, cioè un decimo di miliardesimo di metro); comprende quindi tutto lo spettro del visibile (ecco perché può essere osservata direttamente come una luce bianco-azzurrina), ma è molto più esteso, perché va dall'infrarosso ai raggi X.

Altre caratteristiche della luce di sincrotrone sono l'essere straordinariamente brillante, collimata (si ottiene un fascio con apertura angolare di qualche centesimo di grado) e impulsata (milioni di impulsi al secondo, ciascuno della durata di un decimillesimo di miliardesimo di secondo), e infine completamente polarizzata (le onde elettromagnetiche vibrano sempre su un piano orizzontale).

Elettra

La radiazione di sincrotrone fu inizialmente considerata un disturbo, in quanto sottraeva energia agli esperimenti, disperdendola sotto forma di «luce». Fu solo negli anni Settanta che si cominciarono a intravedere le potenzialità di questa fonte di luce, per svariati campi di applicazione in fisica, struttura della materia, biologia, chimica, medicina... Nacquero allora le macchine di «seconda generazione», progettate apposta per produrre radiazione di sincrotrone.

Per migliorare le proprietà della radiazione prodotta sono stati escogitati diversi espedienti. Nei sincrotroni di «terza generazione», quale è Elettra, sono state inserite altre serie di magneti nei tratti compresi tra i magneti curvanti, in modo da costringere le particelle a percorrere una traiettoria ondulata (sinusoidale): questi dispositivi si chiamano *ondulatori*. Il vantaggio di usare gli ondulatori è che la radiazione emessa risulta molto più intensa e concentrata in un pennello sottilissimo; inoltre è polarizzata e parzialmente coerente (similmente alla radiazione di un **laser**).

L'angolo di apertura del pennello di luce di Elettra è circa 0,003° e corrisponde al rapporto tra l'energia a riposo dell'elettrone ($E=m_{el}c^2$, dove m_{el} è la massa dell'elettrone e c è la velocità della luce) e l'energia totale (cioè la somma dell'energia a riposo con l'energia cinetica derivante dal suo moto): quindi più veloci sono gli elettroni e più intenso è il campo magnetico applicato, più è sottile il fascio di radiazione.

Nell'Universo esistono un gran numero di **sincrotroni** naturali. Si va da quelli aventi le dimensioni di un'intera galassia (centomila e più anni luce, pari a un miliardo di miliardi di chilometri) a quelli di dimensioni così piccole come il raggio di una **stella di neutroni** (una decina di chilometri).

Oltre alla radiazione termica, che viene emessa da ogni corpo a temperatura superiore allo zero assoluto e che è tanto più intensa quanto maggiore è la temperatura del corpo, esistono altri meccanismi di produzione della **radiazione**, detti non termici, in quanto non dipendenti dalla temperatura. Fra questi è importante in natura la cosiddetta **radiazione di sincrotrone**. Come viene prodotta la radiazione di sincrotrone nei corpi celesti?

Prendiamo il caso della nostra Via Lattea: sappiamo che esistono particelle cariche, altamente energetiche (aventi cioè velocità prossime a quella della luce), conosciute col nome di **raggi cosmici**. Esse sono, almeno in gran parte, prodotte nel corso delle esplosioni stellari, specialmente esplosioni di **supernovae**. Fra queste particelle dominano i nuclei di idrogeno e gli elettroni. Intrappolati dal **campo magnetico** galattico, essi spiralano attorno all'asse del campo magnetico e vengono accelerati a velocità molto prossime a quelle della luce. Dato che l'elettrone ha una massa di circa 2000 volte più piccola del protone, la velocità che può raggiungere, e quindi anche la produzione di radiazione elettromagnetica, sono molto maggiori, per cui si può dire che la produzione di radiazione di sincrotrone è dovuta quasi esclusivamente agli elettroni.

MARGHERITA HACK
Dipartimento di Astronomia dell'Università di Trieste

I SINCROTRONI DEL CIELO

Le condizioni create artificialmente nei grandi laboratori terrestri per ottenere la luce di sincrotrone si producono naturalmente nello spazio cosmico. In particolare le stelle di neutroni sono forti sorgenti di luce di sincrotrone ad alta energia.

L'energia sottratta al campo magnetico e trasferita all'elettrone viene irraggiata nella direzione della velocità istantanea dell'elettrone. L'irraggiamento globale dipende dall'energia dei singoli elettroni e dall'intensità del campo magnetico ed è fortemente polarizzato. Infatti la radiazione è emessa in piani perpendicolari al campo magnetico. Inoltre essa non dipende dalla temperatura del corpo emittente e, proprio per questa ragione, si chiama radiazione non termica.

La frequenza della radiazione emessa è tanto maggiore quanto maggiore è la velocità degli elettroni relativistici (dove relativistico sta a indicare che la velocità è paragonabile a quella della luce) e quanto maggiore è il campo magnetico. Poiché nella nostra e nella maggioranza delle altre galassie normali si hanno campi magnetici assai deboli, da un centesimo a un milionesimo di **gauss**, e le velocità della maggioranza degli elettroni sono di circa un decimo di quella della luce, l'emissione di radiazione sincrotrone dalla nostra e dalle altre galassie ha luogo esclusivamente a basse **frequenze**, e cioè nel dominio radio, fra una ventina di centimetri e qualche decina di metri di lunghezza d'onda.

Ci sono tuttavia sincrotroni naturali più piccoli ma capaci di emettere radiazione molto più energetica. Nella Galassia se ne conoscono due. Si tratta di nebulosità, residui di supernovae esplose da un migliaio a parecchie decine di migliaia di anni fa. Sono la nebulosa del Granchio, residuo della supernova esplosa nel 1052 e osservata dagli astronomi cinesi, e la nebulosa della Vela. Esse emettono radiazione sincrotrone non soltanto nel dominio radio, ma anche alle frequenze più alte, corrispondenti all'ottico, ultravioletto, raggi X e gamma. In realtà le emissioni alle frequenze X e gamma non provengono dall'inviluppo nebuloso ma piuttosto dalla stellina al centro, la stella di neutroni, residuo compatto dell'esplosione della supernova. Le stelle di neutroni, nella contrazione tremenda che subiscono al momento del collasso della stella prima dell'esplosione, aumentano il loro campo magnetico dal valore tipico di una stella normale, pari a pochi gauss, a valori di miliardi di gauss, producendo così una «macchina» capace di produrre radiazione sincrotrone a frequenze altissime.

Infatti, nel collasso da valori del raggio stellare di qualche milione di chilometri a quello tipico di una stella di neutroni, di circa 10 chilometri, per la conservazione del momento magnetico, il prodotto della superficie stellare per l'intensità del campo magnetico deve restare costante. Ne segue che se la superficie diventa 10 miliardi di volte più piccola, il campo deve diventare 10 miliardi di volte più grande. Inoltre, per la conservazione del momento angolare, la velocità di rotazione cresce dal valore tipico di una stella normale, di pochi chilometri al secondo, fino a valori di parecchie centinaia di chilometri al secondo. Il campo magnetico ruotante produce un **campo elettrico** tanto forte da strappare le particelle cariche, elettroni e protoni dalla superficie della stella. Queste, accelerate e intrappolate dal campo magnetico, sfuggono lungo l'asse del campo stesso, contribuendo alla popolazione di raggi cosmici. Così le stelle di neutroni, resti delle distruttive esplosioni di supernovae, oltre ad essere fonte di radiazione sincrotrone, sono anche fra le maggiori produttrici di raggi cosmici.

Il laboratorio Elettra sul Carso triestino vicino a Basovizza.

VINCENZO ZUCCARELLO Centro di Ecologia Teorica e Applicata di Gorizia

UN ECOSISTEMA PER ELETTRA

Per ripristinare l'ambiente inevitabilmente danneggiato dalla costruzione di Elettra, è in corso di realizzazione un progetto di ecologia applicata che prevede la ricostruzione della landa, caratteristico ecosistema carsico.

La costruzione di un impianto come quello del laboratorio Elettra non può certo essere completamente indolore per l'ambiente e per il territorio che lo ospita. Malgrado questo nella progettazione possono venire adottati degli specifici criteri in modo da tutelare il più possibile la qualità dell'ambiente naturale. È questa la via che ha scelto l'Area di Ricerca da quasi un decennio; nel caso della costruzione di Elettra sull'altopiano vicino a Basovizza, in particolare, l'Area ha commissionato al Centro di Ecologia Teorica ed Applicata di Gorizia uno studio atto a garantire il ripristino e la più adeguata e complessiva tutela del patrimonio ambientale.

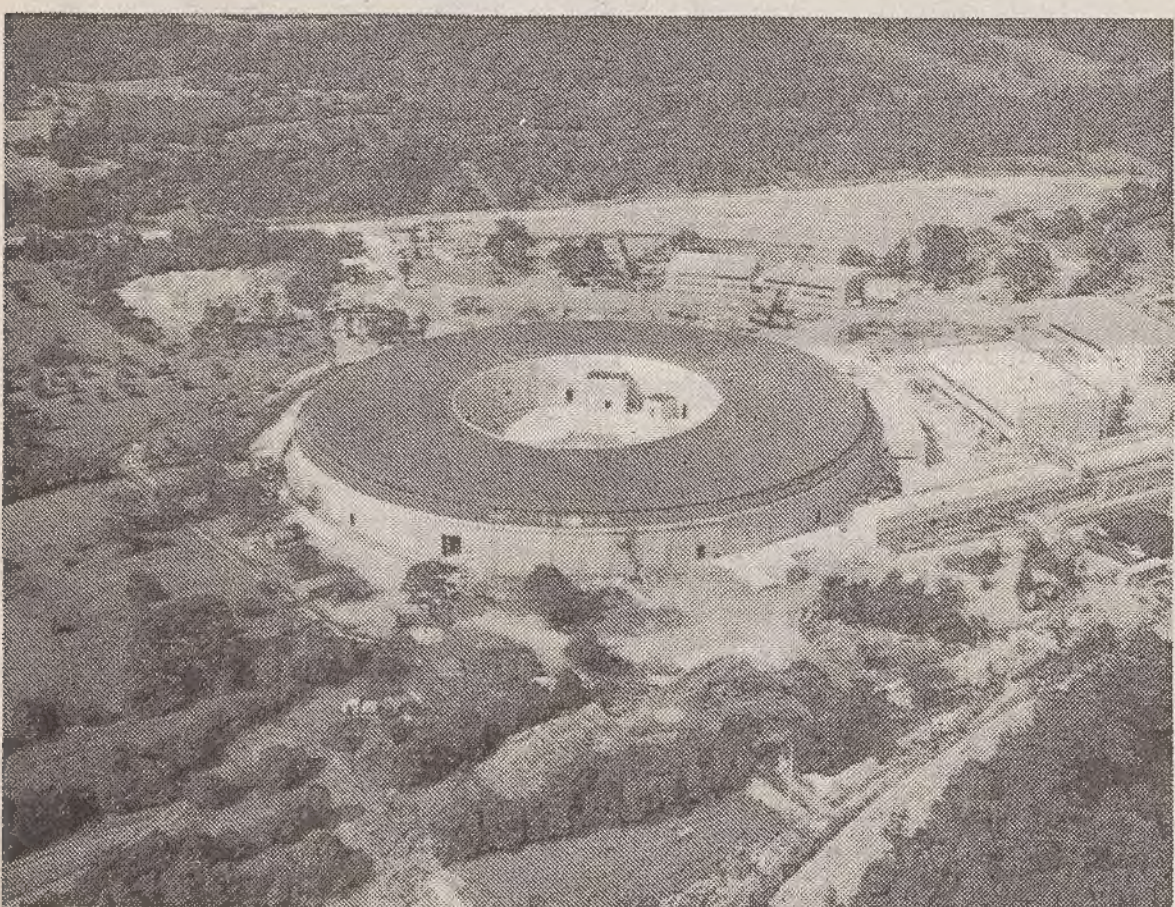
Lo studio, iniziato nel 1992 e basato su approcci scientifici che si fondano su principi dell'ecologia del territorio, ha provato che la tutela dell'ambiente naturale carsico avviene favorendo la vegetazione della landa che ne costituisce il tratto distintivo dal punto di vista paesaggistico. La landa è un ambiente di prati e pascoli costituitosi fin dall'inizio del Neolitico a seguito dello sfruttamento agricolo del territorio. In essa si è insediato un contingente di specie rare non presenti nella vegetazione delle zone circostanti, arricchendo in modo unico la sua composizione floristica.

Attualmente, il progressivo incespugliamento spontaneo, dovuto alla diminuzione delle attività agricole da parte della popolazione locale, sta riducendo notevolmente l'estensione della landa carsica su tutto il Carso. Questo processo, che potrebbe essere irreversibile, comporta un danno non solo da un punto di vista paesaggistico e culturale, ma anche e soprattutto per la diminuzione della diversità biologica ed ecologica del Carso. Molte delle specie che caratterizzano la landa rischiano infatti di scomparire. Pertanto l'Area ha promosso una ricerca sulle metodologie di rinverdimento delle zone degradate dai lavori per la costruzione di Elettra, privilegiando l'insediamento di questa comunità vegetale.

Lo stadio sperimentale del progetto prevede l'inerbimento delle aree degradate e la formazione della landa carsica attraverso la ricostruzione del tappeto erboso con l'utilizzo di specie caratteristiche dei pascoli carsici e di altre specie estranee, che però in questa fase servono solo come riedificatrici del prato.

Si può constatare con soddisfazione che l'applicazione dei criteri dell'ecologia del territorio nel rinverdimento eseguito nel 1993 ha prodotto la costituzione di un prato floristicamente molto simile a quello naturale, ed in alcune zone non si nota differenza alcuna con la landa adiacente. I risultati ottenuti sono ancor più incoraggianti di quelli previsti inizialmente. Ciò indica che la metodologia di ripristino è appropriata, e che può essere applicata con esiti positivi sia alle restanti aree intorno a Elettra sia a tutte le aree carsiche abbandonate o degradate.

La realizzazione della fase sperimentale è tuttora in corso e prevede anche altre iniziative volte alla salvaguardia e alla tutela dell'ambiente naturale. Nel biennio 1994-1995 si realizzerà un programma di manutenzione ambientale e di monitoraggio della vegetazione. Per assicurare la conservazione della biodiversità è anche prevista la realizzazione di una banca del germoplasma (semi ed apici vegetativi) delle specie caratteristiche dell'ambiente carsico e minacciate di estinzione. I risultati ottenuti saranno divulgati attraverso attività di educazione ambientale.

Questa è un'iniziativa unica nel suo genere non solo per la nostra Regione, ed ha il merito di introdurre acquisizioni originali ed innovative nel campo del ripristino ambientale. La zona di Basovizza costituirà, alla fine del progetto, una riserva biogenetica volta al mantenimento ed al ripristino dell'ambiente della landa, diventando un'utilissima area di sperimentazione delle tecniche necessarie per garantire la più adeguata tutela ambientale accanto ad un razionale sviluppo socio-economico del territorio. Vicino, quindi, ai laboratori *hi-tech* di Elettra, è sorto e si sta potenziando un altro laboratorio «a cielo aperto» che sviluppa una ricerca sperimentale d'avanguardia sulla tutela ambientale.

DALLE PAGINE PRECEDENTI

Continuazione da pagina 1

Elettra: più luce per la scienza

striali possibili sono molto più vicine a Elettra che non alla macchina di Grenoble.

Cosa significa che Elettra abbia una particolare brillanza nella fascia dei raggi X molli?

La luce è sempre preziosa: più ce n'è, più rapidamente si può effettuare l'esperimento e meno rumore si ritrova. Però non conta solo la quantità totale di **radiazione,** ma anche quanto essa è concentrata. Una sorgente è tanto più **brillante** quanto più è alto il numero di **fotoni** (o intensità) che emette. L'ideale è avere una sorgente puntiforme e tutta l'intensità della luce concentrata in un filo sottilissimo. Questo è importante soprattutto nel caso dei raggi X, per i quali non si usano lenti, ma si lavora solo con la riflessione. Se il raggio è ben collimato, si riesce a focalizzarlo bene, altrimenti la maggior parte va perduta.

Che tipo di ottica è quella della luce di sincrotrone?

È un'ottica poco convenzionale, al di fuori di tutte le approssimazioni con cui si è studiata l'ottica finora. Il motivo è che la luce visibile si può rifocalizzare usando specchi o lenti, mentre i raggi X no; questi vengono infatti assorbiti dagli specchi, a meno che l'angolo d'incidenza non sia estremamente radente. Questo significa, però, che quando metto uno specchio per condensare il fascio — quindi uno specchio curvo — è vero che lo riflette, ma mi dà delle aberrazioni pazzesche, ed è proprio quello contro cui noi dobbiamo lottare. Ecco un motivo in più per cui conviene avere la luce molto brillante e molto sottile, perché così essa investe un'area molto piccola di superficie riflettente.

Cosa possiamo aspettarci da questo nuovo strumento di ricerca?

Per ora sappiamo quel che si può fare con le vecchie macchine di seconda generazione. Quindi in una prima fase si estenderanno gli esperimenti già progettati; solo quando avremo preso confidenza con le potenzialità di Elettra, che è una macchina di terza generazione, credo che verranno fuori degli esperimenti nuovi. Galileo con il cannocchiale riuscì a concentrare dentro l'occhio una quantità di luce dieci volte maggiore di quella visibile a occhio nudo. E così scoprì i satelliti di Giove. Nel nostro caso, metteremo — non nell'occhio ma su un campione — una quantità di radiazione circa mille volte superiore alle macchine precedenti. È quindi molto probabile che vengano fuori cose inaspettate. La sensazione è che le cose previste rappresentino solo una frazione molto piccola di quello che si può fare.

Parlando della risoluzione raggiungibile con la luce di sincrotrone, si impiegano ordini di grandezza non solo spaziali ma anche temporali. Quali prospettive apre questo aspetto?

Abbiamo parlato di brillanza. Si può utilizzare questa brillanza in vari modi. Agli inizi della fotografia il soggetto doveva rimanere immobile per un sacco di tempo... Alcune delle tecniche dei vecchi sincrotroni sono di questo tipo. Ora, con mille volte più luce, possiamo scattare tanti fotogrammi al secondo, il che è l'equivalente della cinematografia; questo vuol dire entrare nel dominio temporale. A seconda dell'esigenza dell'esperimento si può allora fare una microscopia su un oggetto molto piccolo, con una posa lunga oppure, quando non importa l'aspetto microscopico, impiegare tutta la brillanza per osservare un fenomeno rapido.

Quale futuro si prospetta per Elettra, diciamo fra dieci anni?

Attualmente i fasci di radiazione di Elettra hanno già delle proprietà di **coerenza** e assomigliano un po' a un laser, anche se solo parzialmente. Il prossimo passo è ottenere dei fasci assolutamente coerenti, dei *laser a raggi X*, cioè un sincrotrone di quarta generazione. Stiamo già esaminando le possibilità di realizzazione di questo progetto. I laser a raggi X hanno un'intensità spaventosa, ma per un tempuscolo brevissimo (milionesimi di milionesimi di secondo): questo, anziché essere un limite, consente osservazioni molto particolari nel dominio temporale, che risulterebbero interessanti soprattutto nel caso dei fenomeni biologici che sono i fenomeni dinamici per eccellenza.

Continuazione da pagina 1

Ricordi di un testimone

aspetti diversi della materia è l'energia della radiazione che si usa, e si può allora osservare che la luce di sincrotrone amplia enormemente lo spettro di energia disponibile. Per esemplificare, basti pensare che la luce visibile all'occhio umano ha energia tra 2 e 5 **eV**, mentre quella di sincrotrone si estende da una frazione di eV fino a migliaia eV. È facile capire che questo corrisponde ad aprire una finestra panoramica sulla natura, anziché guardarla da una stretta feritoia. L'utilizzazione della luce di sincrotrone su grande scala sembrava un sogno, ma dalla metà degli anni Sessanta si stavano già sviluppando nuove macchine che dovevano renderlo possibile. In seguito a una scoperta di Bruno Tuschek a Roma, divenne possibile costruire anelli di accumulazione in cui pacchetti con un grande numero di elettroni o di positroni molto vicini ruotano in un'orbita chiusa, e nei tratti curvi emettono luce. Si può aumentare enormemente l'energia, e si ottiene inoltre radiazione di stabile intensità e periodica nel tempo. La prima di tali macchine era in costruzione al laboratorio INFN di Frascati e si chiamava ADONE (grosso Anello Di Accumulazione); altre vennero presto progettate in molte parti del mondo e fornirono poi risultati molto importanti in fisica delle particelle elementari. Ma come utilizzare la luce da esse prodotta? Quando accennavamo timidamente a questa possibilità ai nostri colleghi che si occupavano di particelle elementari, la reazione era di preoccupazione; per loro la luce emessa dagli elettroni era ancora un disturbo fastidioso e inevitabile. Ma c'è sempre chi ha visioni più ampie, e questo fu il caso di Edoardo Amaldi. Ricordo che invitò me e Chiarotti a casa sua una sera del 1971 per incoraggiarci a usare ADONE come sorgente di luce. Scrisse poi a Villi, allora presidente dell'INFN, convinse il Comitato Fisico del CNR e rese possibile la nascita del PULS (Programma per l'Utilizzazione della Luce di Sincrotrone), e di un'attività a Frascati non molto intensa ma di elevata qualità. Nel mondo intanto esplodeva questo campo di ricerca legata agli anelli di accumulazione, soprattutto ad Amburgo, a Parigi, a Stanford in California, e a Madison nel Wisconsin.

Dopo la metà degli anni Settanta apparve chiaro che occorreva costruire in Europa un laboratorio ad hoc per queste ricerche, e con macchine di energia opportuna. La Fondazione della Scienza Europea di Strasburgo si prese l'incarico di patrocinare il progetto e un comitato fu costituito sotto la presidenza di Mayer-Leibniz prima e di Farge poi. All'inizio del 1979 il progetto europeo era formulato e presentato ai governi. Tazzari, Balzarotti e io avevamo partecipato alla sua elaborazione e ci demmo subito da fare perché il laboratorio venisse in Italia. Non ricordo cosa fecero gli altri, ma io ero allora a Roma e mi rivolsi subito ai colleghi dell'Istituto di Fisica Nucleare; i tempi non erano favorevoli e la risposta fu negativa. Ebbi allora l'occasione di parlare con Paolo Budinich, e con mia grande soddisfazione lo trovai disponibile, entusiasta dell'idea e disposto a sostenere la candidatura di Trieste. Venni a Trieste, parlammo con il rettore Giampaolo de Ferra, con il sindaco Manlio Cecovini, con i colleghi, tutti capirono il significato dell'opportunità che si presentava. Ricordo che suggellammo a casa di Budinich la decisione di impegnarci in questa impresa davanti a una bottiglia del mio vino dell'Oltrepò Pavese. Si decise allora che della cosa si sarebbe occupato Luciano Fonda, che di lì cominciò una lunga odissea, tra gli scogli della politica, della burocrazia, delle partecipazioni internazionali. Caduto quasi subito il sogno di ospitare il Laboratorio Europeo, perché nel 1980 i governi di Francia e Germania si accordarono all'istante per costruire a Grenoble la macchina da 5,5 GeV, rimase la possibilità di realizzare a Trieste la seconda macchina da 1,5 GeV di energia, che era prevista dal progetto ma non aveva spazio a Grenoble. E su questa idea si mosse Luciano Fonda, che ha raccontato con tanta sincerità le sue esperienze in un libro. Furono cinque anni di insistenze, di peregrinazioni, di apparenti periodi di stasi; quando gli telefonavo impaziente per avere notizie mi diceva che il Ministro Granelli gli aveva assicurato il suo appoggio, ma bisognava aspettare il momento opportuno. E questo venne nel luglio 1985. Fummo convocati al Ministero della Ricerca Scientifica, e con noi venne convocato Rubbia, che non aveva prima considerato il problema, ma immediatamente ne capì l'importanza e da allora vi si impegnò a fondo. In quella riunione la decisione del Ministro Granelli venne formulata, ed era per un anello di accumulazione da 1,5-2 GeV, a Trieste, interamente dedicato a ricerche con luce di sincrotrone. Subito dopo, nell'autunno del 1985, al Convegno della Società Italiana di Fisica a Trieste, venne anche l'accordo della comunità dei fisici, dopo lunga e sofferta discussione pubblica. Il resto si è tutto svolto a Trieste, e lascio ad altri raccontarne la storia; occorreva uno strumento agile per assumere le persone adatte e per procedere con la dovuta rapidità, e fu creata la Società di Diritto Privato, col presidente Carlo Rubbia; fu scelto il terreno più adatto e più bello tra quelli possibili, e i relativi problemi vennero superati, e tante altre cose si potrebbero raccontare. Ma non si può non ricordare Puglisi che non è più tra noi, ma fino all'ultimo ispirò e diresse il progetto della macchina, e promise che entro i primi mesi del 1994 ci sarebbe stata la luce, con le caratteristiche desiderate, per la ricerca italiana e non solo italiana. Tali previsioni sono state anticipate, le ricerche sono ora iniziate, con i primi risultati, e questo è un momento di consolazione e soddisfazione per chi ripercorre con la memoria questa lunga storia e rivive le sensazioni delle origini e del cammino.

Editore: Società Editoriale per azioni.

Stampato presso: O.T.E., via Guido Reni 1. Pubblicazione registrata al Tribunale di Trieste, n. 773 del 24-1-1990.

Direttore responsabile: Margherita Hack.

In redazione: Piero Budinich, Simona Cerrato, Ettore Panizon.

Grafica: Giovanna Maiani.

Disegni: Giuliano Comelli.

Hanno collaborato: Aura Bernardi, Paola Landri, Paola Rodari, Nicoletta Tamburini, Serena Zacchigna.